

Cyfrowe zwrotnice głośnikowe (4)

Przetwornik C/A, przedwzmacniacze, wzmacniacz mocy, zasilanie

W poprzedniej części opisaliśmy sekcję odbiornika SPDIF i procesora DSP oraz sposoby projektowania i implementacji zwrotnic cyfrowych.

W tej części zostaną opisane pozostałe sekcje projektowanego układu: przetworniki C/A, przedwzmacniacze, wzmacniacze mocy oraz zasilanie.

Sekcja C/A została oparta na układzie synchronizacji z użyciem konwerterów częstotliwości próbkowania. Dane cyfrowego sygnału stereofoniczne zostały po filtracji DSP podzielone na 4 kanały, a zatem niezbędne jest zastosowanie dwóch układów o schemacie blokowym przedstawionym na **rysunku 1**, przy czym jeden układ jest dla wysokoczęstotliwościowego pasma sygnału (lewy i prawy kanał) a drugi – niskoczęstotliwościowego (L/R). Pozwala to na niezależne tłumienie sygnału dla głośników wysokotonowych i średnio-niskotonowych, eliminując tym samym różnice w wartościach impedancji i efektywności głośników.

Układ SRC4193 jest dwukanałowym konwerterem częstotliwości próbkowania

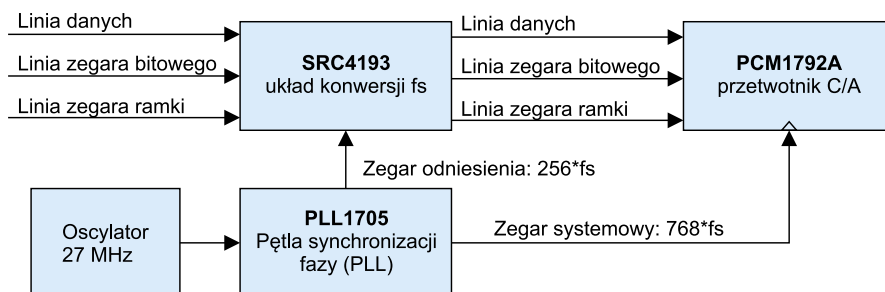
i jego głównym zadaniem jest zmiana częstotliwości sygnału taktowania PCM1792A z częstotliwości źródła SPDIF na zależną od częstotliwości oscylatora. Pozwala to na znaczne ograniczenie wejściowego drżenia fazy (jittera) przy zachowaniu synchronizacji systemu. Należy w tym przypadku zastosować oscylator o dużej stabilności fazy. Drugim zadaniem SRC4193 jest wspomniane, cyfrowe tłumienie sygnału. Wartość tłumienia zależy od zawartości 16 bitowych rejestrów i może być zmieniane w przedziale od 0 do $-127,5$ dB z krokiem $0,5$ dB. Układ charakteryzuje się dynamiką na poziomie 144 dB oraz parametrem $THD+N = -140$ dB (obydwa parametry w paśmie $20\dots f_s/2$ Hz, z uwzględnieniem krzywej ważonej

A). W projekcie konwerter SRC4193 pracuje z częstotliwościami próbkowania $44,1$ kHz i formatem I²S na wejściu i na wyjściu.

Do przetwarzania cyfrowo-analogowego zostały wybrane 24 bitowe, stereofoniczne przetworniki firmy Burr-Brown/TI PCM1792A. Są to przetworniki Sigma-Delta oparte na wielosegmentowym modulatorze. Charakteryzują się dynamiką do 127 dB (przy 2 V RMS na wyjściu) i zniekształceniami $THD+N=0,0004\%$.

Przetworniki PCM1792A mają analogowe wyjścia prądowe oraz wbudowany filtr cyfrowy z ośmiokrotnym nadpróbkowaniem. W projekcie pracują one w trybie 24 bitowym z odbieraniem danych w formacie I²S. Przetworniki mają funkcję cyfrowego tłumienia (niewykorzystaną w projekcie) oraz automatycznego zerowania wyjść analogowych przy wykryciu zera na wejściach cyfrowych. Konfiguracja trybów pracy SRC4193 oraz PCM1792A jest kontrolowana przez procesor DSP za pomocą interfejsu SPI.

Jako źródło zegara systemowego dla PCM1792A oraz zegara odniesienia dla SRC4193 wybrano układ PLL1705. Jest to układ pętli synchronizacji fazowej przeznaczony do zastosowań audio. Na podstawie sygnału zegarowego pochodzącego z zewnętrznego oscylatora o częstotliwości 27 MHz, PLL1705 generuje 4 niezależne sygnały wyjściowe o częstotliwościach równych wielokrotnościom standardowych dla audio częstotliwościom próbkowania: $32; 44,1; 48; 64; 88,2; 96$ kHz. Układ PLL1705 zapewnia odchylenie okresu (jitter) sygnału zegarowego na poziomie 50 ps.



Rysunek 1. Schemat blokowy sekcji przetwornika C/A, opartej na układzie konwersji częstotliwości próbkowania

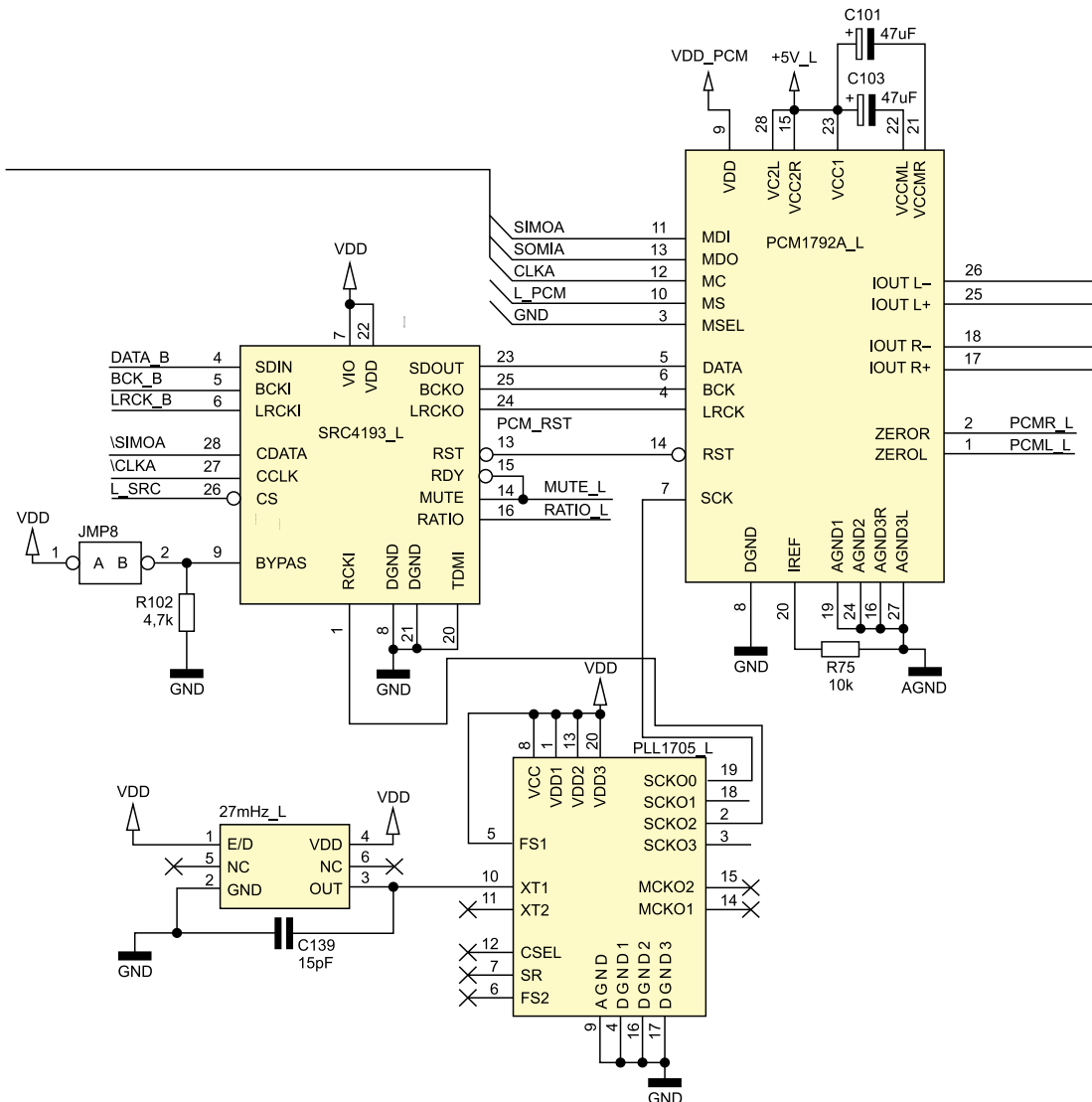
Tabela 1. Parametry układów NE5534A i OPA211

Parametr	NE5534A	OPA211
Współczynnik szumu [nV/sqrt(Hz)]	3,5	1,1
CMRR [dB]	100	120
Slew Rate [V/us]	13	27
Wzmocnienie DC w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego [dB]	100	120
Wejściowe napięcie niezrównoważenia [mV]	0,5	0,02
Wejściowy prąd polaryzujący [nA]	500	30
Pasma [MHz]	10 (G=1)	80 (G=100)

Przedwzmacniacze

Układ przedwzmacniacza pełni – oprócz wstępnego wzmocnienia sygnału – także funkcję konwersji prądowo-napięciowej, filtracji oraz desymetryzacji sygnału.

Wyjścia prądowe przetworników PCM1792A wymuszają potrzebę zmiany sygnału wyjściowego z prądowego na napięciowy. W tym celu należy zastosować



Rysunek 2. Sekcja przetwornika C/A

szerokopasmowe, niskoszumne wzmacniacze operacyjne np. układy NE5534A (tabela 1). Konwersja prądowo-napięciowa

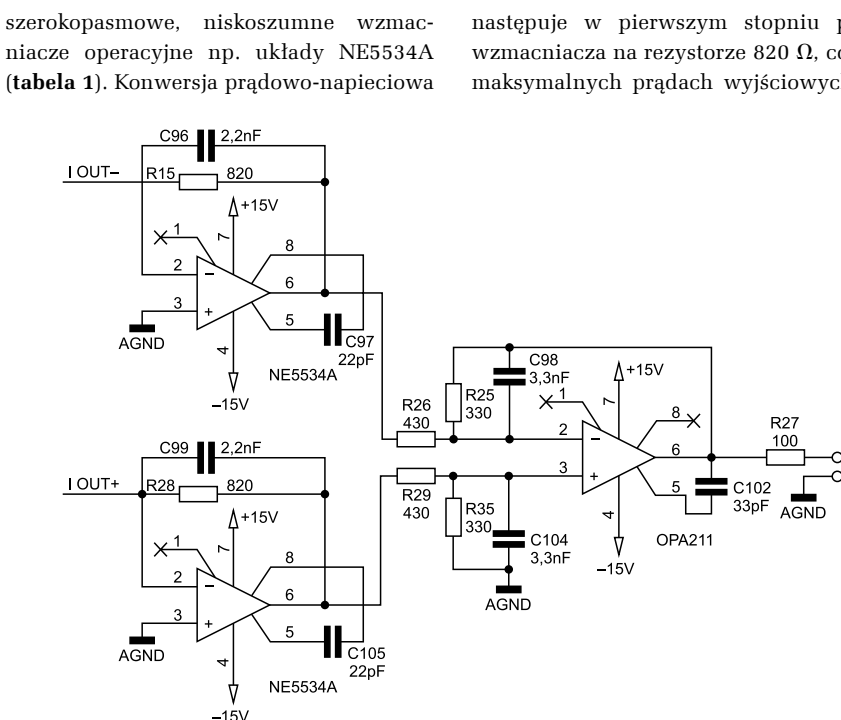
następuje w pierwszym stopniu przedwzmacniacza na rezystorze 820 Ω , co przy maksymalnych prądach wyjściowych wy-

wzmacniaczy NE5534A, po 2 w każdym kanale.

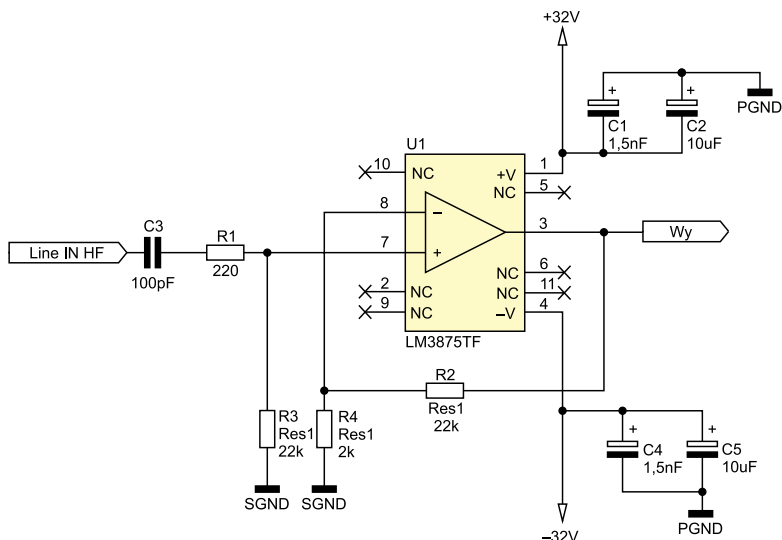
W drugim stopniu przedwzmacniaczy, odpowiadającym za zmianę sygnału z symetrycznego na niesymetryczny, użyto wzmacniaczy OPA211 (tab. 1). Również w tym stopniu zastosowano analogowy filtr dolnoprzepustowy pierwszego rzędu o częstotliwości granicznej 146 kHz. Wzmocnienie tej części układu określają rezystory 330 Ω i 430 Ω i wynosi ono $G = 0,77$. A zatem poziom sygnału wyjściowego dla pojedynczego kanału wynosi 3,5 V RMS. W projekcie zastosowano 4 wzmacniacze OPA211 – po jednym w każdym kanale.

Wzmacniacze mocy

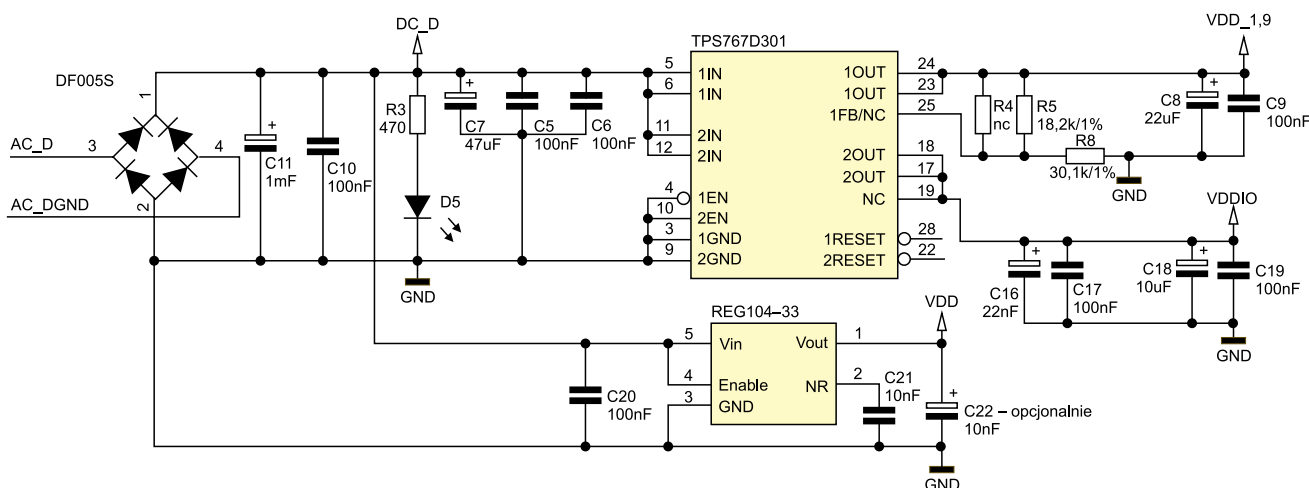
Zgodnie z założeniem każdy z pięciu użytych głośników jest sterowany przez niezależny wzmacniacz mocy. Współczesne, scalone wzmacniacze mocy charakteryzują się wystarczająco dobrymi parametrami na potrzeby realizowanego projektu, dlatego zastosowano popularne wzmacniacze LM3875 pracujące w klasie AB. Parametry wzmacniacza zamieszczono w tabeli 2. W zastosowa-



Rysunek 3. Schemat pojedynczego kanału sekcji przedwzmacniaczy ze wzmacniaczami operacyjnymi NE5534A oraz OPA211



Rysunek 4. Schemat wzmacniaczy mocy z układami LM3875



Rysunek 5. Schemat układu zasilania cyfrowego

nym wzmacniaczu jest układ ochronny na jego wyjściu zabezpieczający głośnik przy przekroczeniu maksymalnych i minimalnych wartości napięć zasilania, zwarcie wyprowadzeń do napięć zasilających oraz przed przekroczeniem maksymalnej dopuszczalnej temperatury i przy gwałtownych jej skokach. W wypadku przekroczenia dopuszczalnej temperatury wzmacniacz automatycznie wy-

łącza się. W projekcie zastosowano 4 układy LM3875. Moc wzmacniaczy jest wystarczająca dla potrzeb systemu odsłuchowego do zastosowań w warunkach domowych.

Wzmacniacze (rysunek 5) zamontowano wewnątrz zestawów głośnikowych wraz z radiatorami oraz układami zasilania. Wzmocnienie wynosi $G=12$, co dla sygnału wejściowego 4,9 V p-p daje na wyjściu 59 V p-p max,

pierwszy a następnie układy peryferyjne i pamięć. Napięcie 1,9 V uzyskuje się poprzez zastosowanie zewnętrznego dzielnika napięciowego z rezystorami precyzyjnymi. Zasilacz zasilania cyfrowego ma niezależny transformator o napięciu wtórnym 4,5 V AC i mocy 15 VA. Napięcie to po wyprostowaniu układem Graetza (DF005S) i filtracji ma wartość 5,5 V DC. Przy pinach zasilających

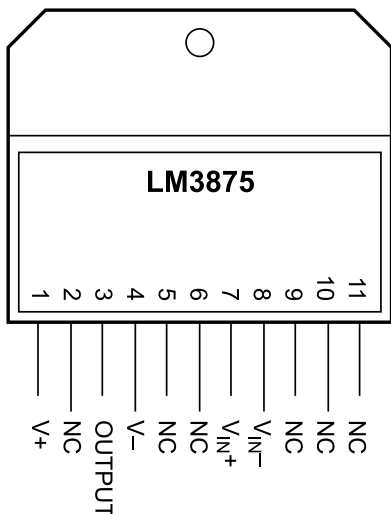
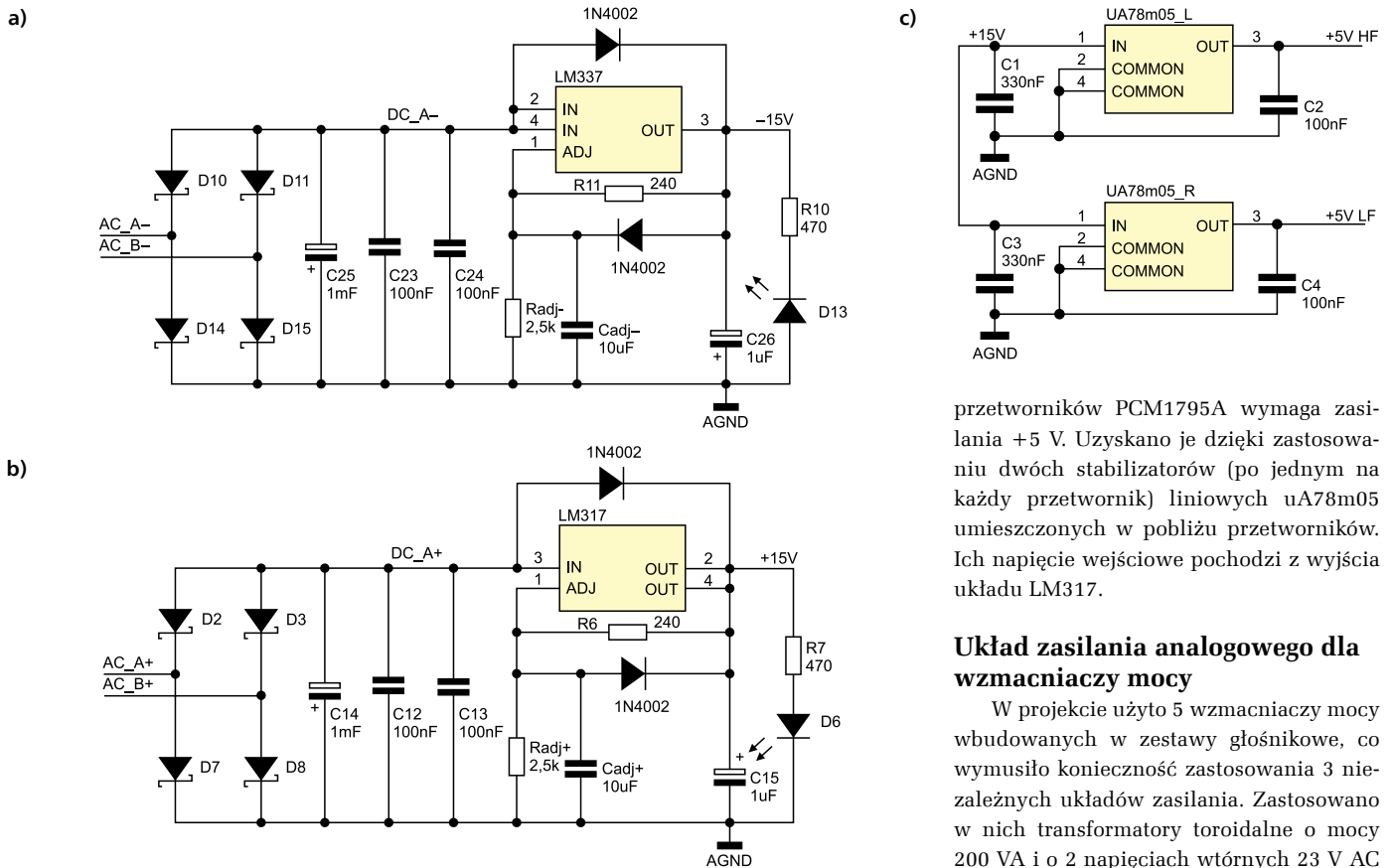


Tabela 2. Parametry układu LM3875 pełniącego funkcję wzmacniacza mocy	
Parametr	Wartość
Moc wyjściowa dla sygnału stałego	56 [W]
Moc wyjściowa chwilowa	100 [W]
THD + N	0,06%
Slew Rate	11 [V/μs]
Wejściowe napięcie nierównoważenia	1 [mV]
Wejściowy prąd nierównoważenia	0,01 [μA]
Wejściowy prąd polaryzacji	0,2 [μA]
PSRR	120 [dB]
CMRR	120 [dB]
Wzmocnienie przy otwartej pętli sprzężenia zwrotnego	120 [dB]
SNR	98 [dB] (Po = 1 W)
f = 1 kHz; Rs 25=Ω; skorygowany z krzywą ważoną A	114 [dB] (Po = 40 W)
	122 [dB] (Po = 100 W)
Zniekształcenia intermodulacyjne	0,004 (4:1)
60 Hz, 7 kHz	0,006 (1:1)



Rysunek 6. Schemat układu zasilania analogowego

każdego układu zastosowano kondensatory odsprężające 100 nF oraz 10 μ F. Do sekcji przetworników zastosowano osobny stabilizator o lepszych parametrach w celu maksymalnego wykorzystania dynamiki przetworników.

Sekcja zasilania analogowego dla przetworników C/A i przedwzmacniaczy

Wzmacniacze operacyjne NE5534A i OPA211 w konfiguracji zastosowanej

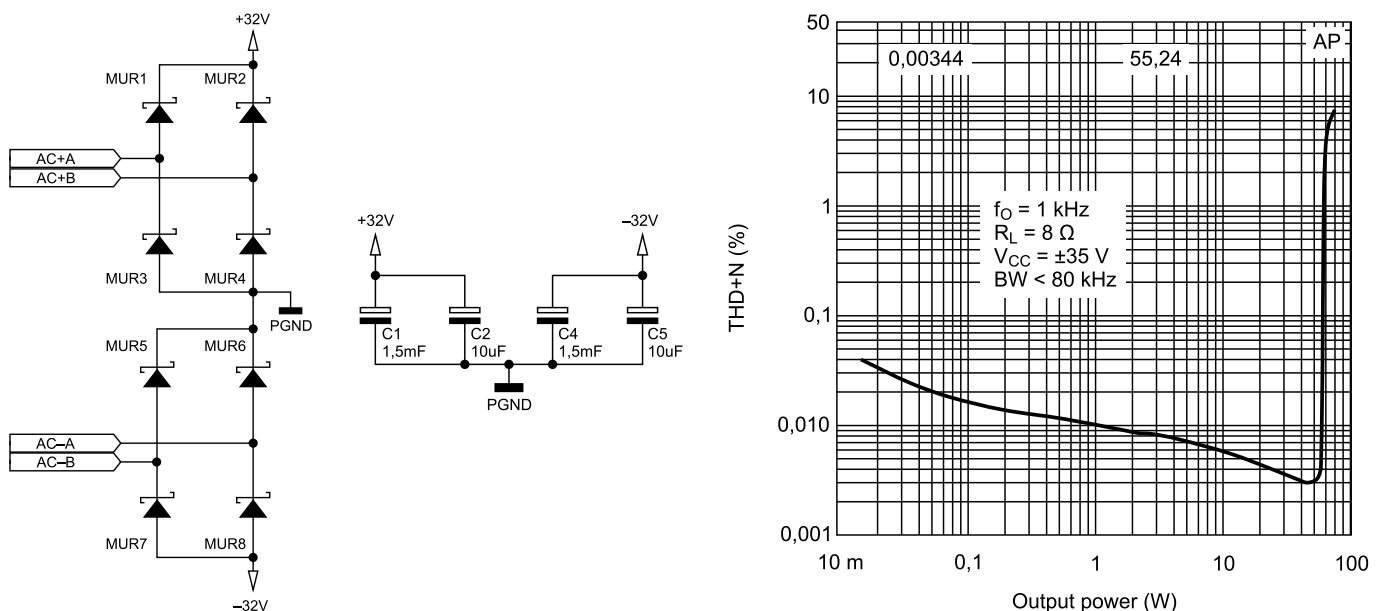
w projekcie są zasilane napięciem symetrycznym. Wzmacniacze uzyskują optymalne wartości parametrów przy zasilaniu ± 15 V i takie napięcia zastosowano. Do obniżenia napięcia sieciowego użyto transformatora toroidalnego o mocy 50 VA i o napięciach wtórnych 12 VAC. Do wyprostowania napięcia zastosowano diody prostownicze Schottky połączone w dwa układy Graetza. Do stabilizacji napięcia zastosowano stabilizatory LM317 (+15 V) oraz LM337 (-15 V). Część analogowa

przetworników PCM1795A wymaga zasilania +5 V. Uzyskano je dzięki zastosowaniu dwóch stabilizatorów (po jednym na każdy przetwornik) liniowych uA78m05 umieszczonych w pobliżu przetworników. Ich napięcie wejściowe pochodzi z wyjścia układu LM317.

Układ zasilania analogowego dla wzmacniaczy mocy

W projekcie użyto 5 wzmacniaczy mocy wbudowanych w zestawy głośnikowe, co wymusiło konieczność zastosowania 3 niezależnych układów zasilania. Zastosowano w nich transformatory toroidalne o mocy 200 VA i o 2 napięciach wtórnych 23 V AC (po wyprostowaniu i filtracji ± 32 V DC) dla zestawów średniowysokotonowych i o mocy 120 VA i o napięciach wtórnych 20 V AC (po wyprostowaniu i filtracji ± 28 V DC) dla głośnika subbasowego. Napięcia zasilania dobrano na podstawie specyfikacji wzmacniaczy mocy oraz znamionowych impedancji głośników. Nie zastosowano dodatkowych układów stabilizatorów napięć, a jedynie filtrację zakłóceń za pomocą kondensatorów elektrolitycznych 1,5 mF i 10 μ F.

Roman Bogusz
Piotr Pietrzyk



Rysunek 7. Schemat sekcji wzmacniacza oraz charakterystyka mocy wyjściowej LM3875